

Eixo Temático ET-02-010 - Saneamento Ambiental

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO LIXIVIADO DO ATERRO SANITÁRIO METROPOLITANO DE JOÃO PESSOA-PB.

Maria Célia Cavalcante de Paula e Silva¹, Maria Virgínia da Conceição Albuquerque¹,
Amanda da Silva Barbosa Cartaxo¹, Catarina Simone Andrade do Canto²,
Howard William Pearson³, Wilton Silva Lopes⁴, Valderi Duarte Leite⁴

¹Bióloga, Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental - UEPB.

²Pós Doutoranda do PPGCTA - UEPB.

³Prof. Dr. do PPGEQ - UFCG.

⁴Prof. Dr. do Departamento de Engenharia Sanitária Ambiental - UEPB.

RESUMO

O Lixiviado de aterro sanitário é uma água residuária proveniente da degradação da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos e da água de chuva que percola a célula de aterramento. Apresenta elevada magnitude de matéria carbonácea e nitrogenada, esta última, representada principalmente pelo nitrogênio amoniacal, além de, metais pesados, fósforo, xenobióticos, ácidos húmicos e fúlvicos. Neste sentido, o lixiviado é considerado uma água residuária de alto poder poluente para os ecossistemas em geral. O trabalho foi desenvolvido na EXTRABES, Campina Grande- PB, as amostras de lixiviado foram coletadas na entrada do sistema de lagoas de tratamento de lixiviado do aterro sanitário metropolitano de João Pessoa-PB. Os parâmetros avaliados foram pH, alcalinidade, nitrogênio amoniacal, Fósforo total, Sólidos (ST, STF, STV), DQO, DBO₅ e íons. As concentrações médias de AT, NAT, P-Total, ST, STF, STV e DQO foram 10141, 2483, 21, 12685, 8894 e 3792 mg. L⁻¹. A relação DBO₅/DQO foi 0,24. Os resultados obtidos são indicativos de que o lixiviado apresenta-se em uma faixa intermediária de biodegradabilidade, uma vez que em aterros considerados velhos esta relação situa-se na faixa de 0,01 a 0,1. A magnitude de nitrogênio amoniacal na forma ionizada, aproximadamente 2359 mg. L⁻¹, pode ser favorável ao crescimento de microalgas. A alcalinidade total determinada no lixiviado gerado no ASMJP, foi devido a predominância de bicarbonatos e carbonatos. Os valores de pH são um indicativo de que o resíduo encontra-se na etapa metanogênica de degradação.

Palavras-chave: Chorume; Resíduos sólidos urbanos; Fase metanogênica; Biodegradação.

INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos urbanos pela sociedade representa um desafio que carece da participação de diversos segmentos para a resolução do mesmo. A maior fração destes resíduos, é disposta em aterros controlados e lixões, a qual, durante sua biodegradação, provoca problemas diversos, dentre estes, a geração de lixiviado, resíduo líquido de alto poder contaminante para o ecossistema em geral.

No Brasil, são coletadas diariamente cerca de 260.000 toneladas de resíduos sólidos urbanos. Desse montante, cerca de 35.000 toneladas são levadas para aterros sanitários que produzem subprodutos como biogás e lixiviado (LEITE et al., 2011).

A utilização de aterros sanitários como método de disposição final de resíduos é atualmente a metodologia mais viável que municípios e órgãos governamentais dispõem. Essa técnica de disposição de resíduos sólidos é a que apresenta menor custo e é a mais recomendada ambientalmente quando se tem área disponível e poucos recursos financeiros. Porém nos aterros há a geração de contaminantes como o chorume que, por possuir alto potencial de contaminação, se apresenta como um problema ambiental (TELLES, 2010).

O lixiviado de aterro sanitário é um efluente altamente poluído que consiste de compostos orgânicos xenobióticos tóxicos, taninos, ácidos graxos, ácidos húmicos e fúlvicos, etc. Alta demanda química de oxigênio ($5000-20.000 \text{ mgL}^{-1}$) e baixas razões de DBO_5/DQO ou $\text{DBO}_5/\text{NH}_4^+-\text{N}$ indicam a presença de uma quantidade significativa de material biologicamente inerte. O componente inorgânico encontrado em altas concentrações é o nitrogênio amoniacal N ($3000-5000 \text{ mgL}^{-1}$ N- amoniacal) (NAVEEN et al. 2016). Metais pesados tóxicos comuns no lixiviado são Ag, Hg, Cd, Mn, Cu e Zn (TSARPALI et al. 2012; KUMARI et al. 2016).

Nos aterros sanitários ocorrem diferentes processos biológicos, físicos e químicos que afetam constantemente a composição do lixiviado, influenciando assim em suas características. Na Tabela 01 estão apresentados alguns dos fatores intervenientes na composição do lixiviado.

Tabela 1. Fatores intervenientes na composição do lixiviado.

Principais fatores que influenciam a composição de lixiviado de aterro sanitário	
Características dos resíduos	Composição; granulometria; umidade; idade do resíduo; pré-tratamento.
Condições ambientais	Geologia; regime pluviométrico; temperatura; clima.
Características operacionais do aterro	Aspectos construtivos das células; balanço hídrico; grau de compactação do resíduo; propriedades do terreno; irrigação; recirculação.
Processos interinos	Hidrólise; absorção; biodegradação; especiação; diluição; dissolução; redução; troca iônica; tempo de contato; partição; geração e transporte de gás.

Fonte: El Fadel et al., 2002; Kjeldsen et al., 2002; Cintra et al., 2002

A presença de metais pesados como o arsênio, o chumbo e o mercúrio em lixiviados de aterros, tem sido uma preocupação emergente da comunidade científica. Apesar de algumas espécies constituírem micronutrientes essenciais, podem ter efeitos tóxicos agudos ou crônicos para os organismos, quer por interferência metabólica, quer por mutagênese, quando estão presentes em concentrações elevadas (GOVIND e MADHURI, 2004).

Em decorrência da complexidade do processo de biodegradação dos resíduos que ocorre no interior da célula em um aterro sanitário, o lixiviado surge como um subproduto de matriz físico-química e microbiológica complexa e variada, além de apresentando ainda metais pesados que podem contaminar o meio ambiente. A elevada magnitude de alguns compostos, a exemplo do nitrogênio amoniacal, que potencializa os efeitos poluentes desta água residuária, torna seu tratamento e monitoração uma preocupação emergente da comunidade científica em geral.

Este efluente, quando descartado sem tratamento prévio, causa grandes impactos negativos ao ambiente como: a toxicidade para a biocenose em geral, a diminuição do oxigênio dissolvido e consequente eutrofização dos corpos aquáticos.

OBJETIVO

O presente trabalho teve por objetivo analisar o comportamento de alguns parâmetros físico-químicos do lixiviado gerado no aterro sanitário metropolitano de João Pessoa-PB, avaliando também seu grau de biodegradabilidade.

METODOLOGIA

O estudo foi realizado na Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgotos Sanitários (EXTRABES), situada no Bairro do Tambor, em uma área pertencente a

Universidade Estadual da Paraíba, na cidade de Campina Grande – PB, com coordenadas geográficas de 7° 13' 11'' S e 35° 52' 31'' W e altitude média de 550 m.

O Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa - ASMJP está situado no engenho Mussuré, na fazenda Mumbaba III, zona sul da cidade, saída para Recife, próximo a BR-101 Sul. Dista aproximadamente 5,0 km do Bairro das Indústrias, centro urbano mais próximo da área, e ocupa uma área de 100 ha. Faz parte de um consórcio de desenvolvimento intermunicipal das cidades de Bayeux, Cabedelo, Conde, Cruz do Espírito Santo, João Pessoa, Lucena e Santa Rita. Teve sua operação iniciada no ano de 2003, foi projetado com 24 células, para uma vida útil de 21 anos. Cada célula do aterro possui dimensões de 150 m x 150m x 20 m, totalizando um volume final em cada célula de 450.000 m³. Durante este estudo a célula que se encontrava em operação foi a 12^a. Na Figura 1 apresenta-se uma imagem com vista aérea do aterro sanitário da cidade de João Pessoa.



Figura 1. Vista aérea do ASMJP, com destaque para lagoas de tratamento de lixiviado. Fonte: Google Earth

O lixiviado de aterro sanitário (LAS) foi coletado na entrada do sistema de lagoas de tratamento do lixiviado, acondicionado em galões de polietileno de 50 litros E transportado até as dependências da EXTRABES para posteriormente ser caracterizado física e quimicamente. Foram realizadas 6 coletas durante o período de agosto de 2017 a outubro de 2019, com intervalo amostral médio de 4,3 meses. A análise dos parâmetros foi conduzida em duplicata, conforme metodologia preconizada por Standard Methods (APHA, 2012). As amostras para estudo dos íons receberam tratamento de filtração em membrana de fibra de vidro de 0,45 µm e 0,22 µm para análise em cromatógrafo iônico Dionex ICS-1100 da Thermo Scientific.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Potencial Hidrogeniônico (pH)

O potencial Hidrogeniônico - pH representa a concentração de íons hidrogênio H⁺ (em escala anti-logarítmica), dando uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da amostra, sendo sua faixa de 0 a 14. O pH do lixiviado variou na faixa de 7,9 a 8,64 durante o período investigado, indicando, segundo Tchobanoglous Thiensen e Vigil. (1993), que os RSU depositados nas Células do ASMJP, de modo geral, encontravam-se na fase metanogênica de degradação. Esta fase, conforme ocorreu devido as Archeas metanogênicas terem consumido os ácidos produzidos no início do processo biodegradativo dos RSU, elevando naturalmente o pH na massa de resíduos e no lixiviado gerado. Na Tabela 02 estão apresentados os dados de caracterização físico-química do lixiviado estudado.

Tabela 2. Caracterização Físico-química do lixiviado do ASMJP.

PARÂMETRO	Magnitude (n=6)
Alcalinidade Total(mg.CaCO ₃ .L ⁻¹)	10141
Ácidos Graxos Voláteis(H _{AC} .L ⁻¹)	1324
DQO total (mgO ₂ . L ⁻¹)	4929
DQO filtrada (mgO ₂ . L ⁻¹)	3388
DBO ₅ (mgO ₂ . L ⁻¹)	1163,2
NTK (mgN. L ⁻¹)	3048
N-NH ₄ ⁺ (mg- NH ₄ ⁺ .L ⁻¹)	2483
N-NO ₃ ⁻ (mg N- NO ₃ ⁻ . L ⁻¹)	7,38
NO ₂ ⁻ (mgNO ₂ ⁻ . L ⁻¹)	-
ST (mg. L ⁻¹)	12685
STV (mg. L ⁻¹)	3792
STF (mg. L ⁻¹)	8894
Ortofosfato (mg Orto-P. L ⁻¹)	14,184
Fósforo Total (mg. L ⁻¹)	21
Cl ⁻ (mg. L ⁻¹)	4076
Na ⁺ (mg. L ⁻¹)	2180
K ⁺ (mg. L ⁻¹)	1982
Mg ⁺⁺ (mg. L ⁻¹)	199
Ca ⁺⁺ (mg. L ⁻¹)	242
pH	8,0

Na maior parte do tempo estudado, o pH do lixiviado esteve em torno de 8,1 , favorecendo então a maior concentração de amônia ionizada (em torno de 94,7% de NH₄⁺) em relação à amônia gasosa (aproximadamente 5,3% de NH₃) esta última, sendo mais tóxica. Identificou-se ainda que os valores obtidos para o pH, apresentam-se dentro da faixa de pH (5,7 - 8,6) encontrada por Souto e Povinelli (2007) para aterros sanitários brasileiros.

Alcalinidade Total (AT)

Considerando-se a faixa de pH observada durante o estudo, sugere-se que os bicarbonatos e carbonatos foram as formas predominantes no lixiviado. Corroborando com este resultado, Libânio (2016), pontua que, a alcalinidade é resultante da presença de hidróxidos (OH⁻), carbonatos (CO₃²⁻) e bicarbonatos (HCO₃⁻), variando em função do pH do meio. Diante disso, quando o pH se apresenta na faixa entre 4,4 a 8,3 ocorre uma predominância da alcalinidade apenas a bicarbonatos; enquanto que, em pH entre 8,3 e 9,4 a alcalinidade predominante é referente a presença de bicarbonatos e carbonatos; e quando o pH se encontra acima de 9,4 a alcalinidade é devido a presença de hidróxidos e carbonatos.

A Alcalinidade total do lixiviado não apresentou expressivas alterações durante a monitoração com média de 10141mg. CaCO₃.L⁻¹. Este valor sugere que na massa do resíduo sólido urbano aterrado ainda há uma fração orgânica nitrogenada significativa em degradação bioquímica. Na concepção de Monteiro (2003) o processo de geração do bicarbonato de amônio em aterros sanitários acontece em decorrência da hidrólise das proteínas, liberando o gás NH₃ que, em solução aquosa e na presença de gás carbônico, produz o bicarbonato de amônio, o qual contribui significativamente para a elevação da alcalinidade total em lixiviados.

Nitrogênio Amoniacal Total (NAT) / Fósforo Total

O nitrogênio amoniacal e a matéria orgânica são os compostos de maior preocupação no lixiviado de aterro sanitário (KULIKOWSKA e KLIMIUK, 2008). Segundo Ilies e Malvenic (2001) altas concentrações de amônia em lixiviados de aterros sanitários, resultam da degradação biológica de aminoácidos e outros compostos orgânicos nitrogenados presentes em lixiviado de aterro sanitário durante a fase acetogênica.

AZIZ et al. (2010) avaliam que a existência de uma quantidade elevada de $N-NH_4^+$ em lixiviados é um dos problemas mais importantes rotineiramente enfrentados pelos operadores de aterro. Esta grande quantidade de $N-NH_4^+$ é estável sob situações anaeróbias, que tipicamente acumulam, no lixiviado, concentrações mais elevadas do que 100 mg. L^{-1} , sendo então altamente tóxicas para os organismos aquáticos.

As concentrações de NAT obtidas para o lixiviado do ASMJP oscilaram entre 2153 a 2806 mgN.L^{-1} , com valores médios de 2483 mg. L^{-1} de N- amoniacal durante o período de monitoração. Em estudo desenvolvido por OLIVEIRA (2013), avaliando as concentrações de N- amoniacal e o grau de biodegradabilidade do lixiviado do ASMJP, foram registradas magnitude de 2177 mg. L^{-1} de nitrogênio amoniacal e relação ($DBO_5/DQO = 0,36$) sugerindo a dificuldade para o tratamento biológico do lixiviado estudado. Nitrogênio amoniacal em elevadas concentrações juntamente com outros parâmetros como alcalinidade, cloretos e matéria orgânica (DQO) pode classificar o lixiviado de aterro sanitário como potencialmente tóxico (PABLOS et al., 2011).

O gerenciamento e remoção das taxas de fósforo constituinte dos mananciais, águas residuárias e do lixiviado, através das diversas tecnologias vigentes, previne eutrofização e promove saúde pública. As magnitudes de fósforo total registradas durante o estudo variaram entre 16,76 e 21,69. mg. P.L^{-1} . O fósforo é um elemento fundamental aos processos energéticos dos seres vivos, sendo o nutriente limitante no caso de tratamento de lixiviados devido a suas concentrações máximas não serem superiores a poucas dezenas de miligramas por litro (EHRIG, 1983).

Quanto aos valores de Ortofosfato, aproximadamente 78% do fósforo total presente no lixiviado é representada por esta fração solúvel. Corroborando com este resultado Souto (2009), afirma que, praticamente todo o fósforo encontrado em lixiviados está na forma de ortofosfatos, estes, provenientes principalmente da matéria orgânica em degradação.

Sólidos

Todos os contaminantes da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos (VON SPERLING, 1995). A presença de sólidos em suspensão presentes no lixiviado, leva a um aumento da turbidez influenciando diretamente na entrada de luz e diminuindo o valor de saturação do oxigênio dissolvido.

Observa-se que a matéria sólida do lixiviado do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa, apresentaram sólidos totais com valor médio de 12646 mg/L , sendo 3797 mg/L para sólidos totais voláteis, representando cerca de 30% dos sólidos totais, o que significa uma quantidade relativamente pequena de matéria orgânica presente na massa de resíduo, pois, segundo JORDÃO e PESSOA (1995), valores típicos, entre os sólidos totais voláteis e os sólidos totais (STV/ST), para lodo gerado em estações de tratamento de esgotos domésticos estão na faixa de 75% a 85%.

DQO Total/ DBO_5

A forma mais utilizada para se medir a quantidade de matéria orgânica biodegradável presente é através da determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5). Esta determinação, padronizada pelos “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, mede a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar biologicamente a matéria orgânica presente numa amostra, após um tempo dado tomando como padrão um tempo de 5 dias, e a uma temperatura padrão de 20°C (JORDÃO e PESSOA, 1995). O estudo da razão DBO_5/DQO contribui na indicação da degradabilidade de lixiviado.

Em aterros novos, até aproximadamente 2 anos de operação, esta razão situa-se entre 0,4 e 0,6 que indica boa biodegradabilidade do percolado, sendo, em aterros velhos muitas vezes inferior a 0,20. Esta queda deve-se à existência de ácidos de lenta biodegradabilidade, requerendo tratamentos diferenciados (RUSSO e VIEIRA, 2000).

Os resultados encontrados para a DQO e DBO₅, para o lixiviado no período de tempo estudado, apresentaram variações significantes, onde a DQO oscilou entre 3331 e 8462 mgO₂ L⁻¹, com valor médio de 4930 mgO₂ L⁻¹, e a DBO₅ apresentou valores médios de 1163mg. O₂. L⁻¹. Percebe-se um decréscimo signficante, para os dois parâmetros em estudo durante o período de monitoração que pode ser atribuída ao incremento de lixiviado proveniente da célula com pequena fração de matéria orgânica e inorgânica. Com uma relação de DBO₅/DQO de 0,24 indicando que o resíduo apresenta baixa biodegradabilidade, característica de aterros velhos.

Íons

VON SPERLING (1997) afirma que todas as águas naturais, em maior ou menor escala, contêm íons resultantes da dissolução de minerais. Os cloretos são advindos da dissolução de sais, como por exemplo, o cloreto de sódio. Os valores médios de cloretos verificados, foram elevados, em média de 4069 mg. L⁻¹. Segundo (SEGATO e SILVA, 2013), o Cl⁻ presente no lixiviado é proveniente de tubos de PVC, negativos de filme e Raio X. Para os íons Na⁺, K⁺, Mg²⁺, e Ca²⁺, as concentrações médias encontradas foram respectivamente, 2234, 2002, 199 e 391 mg. L⁻¹.

CONCLUSÃO

O lixiviado do ASMJP, apresenta-se como resíduo líquido com características intermediárias de biodegradabilidade, fato apontado pela relação DBO₅/DQO, contudo, as amplas faixas de nitrogênio amoniacal dificultam seu tratamento biológico. O pH elevado é um indicativo de que o resíduo encontra-se na etapa metanogênica de degradação.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION -APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22. ed. Washington: APHA, 2012.
- AZIZ, S.Q.; AZIZ, H.A.; YUSOFF, M.S.; BASHIR, M.J.K. Leachate characterization in semi-aerobic and anaerobic sanitary landfills: a comparative study. **Journal of Environmental Management**, v. 91.26082614, 2010.
- CINTRA, F.H.; HAMADA, J.; CASTILHO FILHO, G.S. Fatores que afetam a qualidade do chorume gerado em aterro controlado de resíduos sólidos urbanos. In: **VI SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, Vitória, 2002.
- EHRIG, H. J. Quality and quantity of sanitary landfill leachate. **Waste Management & Research**, v. 1, p. 53-68, 1983.
- EL-FADEL, M.; BOU-ZEID, E.; CHAHINE, W.; ALAYLI, B. Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content. **Waste Management**, v. 22, p. 269-282, 2002.
- GOVIND, P.; MADHURI, S. Heavy metals causing toxicity in animals and fishes. **Research Journal of Animal, Veterinary and Fishery Sciences**, v. 2, p. 17-23. 2004.
- ILIES, P.; MAVINIC, D. S. The effect of decreased ambient temperature on the biological nitrification and denitrification of a high ammonia landfill leachate. **Water Research**, v. 35, p. 2065-2072, 2001.

KJELDSSEN P.I.; BARLAZ, M.A.; ROOKER, A.P.; BAUN, A.; LEDIN, A.; CHRISTENSEN, T.H. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 32, p. 297-336, 2002.

KULIKOWSKA, D.; KLIMIUK, E. The effect of landfill age on municipal leachate composition. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 5981-5985, 2008.

KUMARI, M.; POOJA, G.; TRAKUR, I.S. Landfill leachate treatment using bactoalgal co-culture: An integrated approach using chemical analyses and toxicological assessment. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 128, p. 44-51. 2016.

LEITE, V. D.; PEARSON, H. W.; SOUSA, J. T.; LOPES, W. S.; LUNA, M. L. The removal of ammonia from sanitary landfill leachate using a series of shallow waste stabilization ponds. **Water Science & Technology**, v. 63, n. 4, p. 666-670, 2011.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 4. ed. Campinas: Átomo, 2016.

NAVEEN, B. P.; MAHAPATRA, D. M.; SITHARAM, T. G.; SIVAPULLAIAH, P. V.; RAMACHANDRA, T. V. Physico-chemical and biological characterization of urban municipal landfill leachate. **Environ Pollut**, v. 220: p. 1-12, 2016.

OLIVEIRA, A. G. **Indicadores microbiológicos do tratamento conjugado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sanitário em lagoas de estabilização rasas**. Dissertação de Mestrado- PPGCTA- Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande- PB.

PABLOS, M. V.; MARTINI, F.; FERNÁNDEZ, C.; BABÍN, M. M.; HERRAEZ, I.; MIRANDA, J.; MARTÍNEZ, J.; CARBONELL, G.; SAN-SEGUNDO, L.; GARCÍA-HORTIGUELA.; TARAZONA, J. V. Correlation between physicochemical and ecotoxicological approaches to estimate landfill leachates toxicity. **Waste Management**, v. 31, p. 1841-1847, 2011.

PESSOA, C. A.; JORDÃO, E. P. **Tratamento de esgoto domésticos**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

RUSSO, M.A.T.; VIEIRA, J.M.P. Estudos sobre tratamento de lixiviados de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. In: Anais do IX SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Ilhéus, BA, 2000.

SEGATO, L.M.; SILVA, C.L. Caracterização do chorume do Aterro de Bauru. Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária Ambiental, 2013.

SOUTO, G. D. B.; POVINELLI, J. Características do lixiviado de aterros sanitários no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte. Anais. ABES, p. 1-7, 2007.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. **Integrated solid waste management: Engineering principle sand management issues**. New York: McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 1993.

TELLES, C. A. S. **Processos combinados para o tratamento de lixiviado de aterro sanitário**. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.

TSARPALI, V.; KAMILARI, M.; DAILIANIS, S. Seasonal alterations of landfill leachate composition and toxic potency in semi-arid regions. **J. Haz. Mater.**, v. 233/234, p. 163-171, 2012.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1995. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 1).

VON SPERLING, M. **Lodos ativados**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1997. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 4).